

# JPEG, JPEG-LS 及び JPEG XR における色変換の効果

加治佐 清光<sup>†</sup>

## Effectiveness of Color Transform of JPEG, JPEG-LS and JPEG XR

Kiyomitsu KAJISA

Color transform for a continuous-tone still image is the method to enhance the efficiency of image compression. However, there are not so much papers which describe various methods of color transform for lossless and lossy compression. This technical paper reports the experimental methods and the experimental lossless and lossy compression results by JPEG, JPEG-LS and JPEG XR with color transform or without color transform. Experimental results of lossy compression show that the color transform of JPEG XR is less effective when the default YUV4:4:4 is specified for subsampling, and that for some images compression by JPEG XR with color transform gives worse compression ratio than that without color transform.

Keywords : JPEG, JPEG-LS, JPEG XR, Color Transform

## 1 まえがき

1992 年に国際標準化された JPEG<sup>1), 2)</sup>は広く普及している非可逆符号化方式であり, 同年圧縮効率を高めるための色変換などが JFIF (JPEG File Interchange Format)<sup>3)</sup>により定められた. JPEG とは別の符号化方式で 1999 年に国際標準化された可逆符号化の JPEG-LS<sup>4)</sup>は圧縮効率を高めるために 2003 年の拡張版<sup>5)</sup>により可逆色変換などが定められた. その後, 2000 年に可逆符号化と非可逆符号化をサポートする JPEG 2000 が国際標準化されたが複雑さと計算量のため普及していない. そして 10 年後の 2010 年に可逆符号化と非可逆符号化をサポートする JPEG XR<sup>6)-9)</sup>が国際標準化された. JPEG XR は 2006 年にマイクロソフト社が開発した HD Photo<sup>10)</sup>を基にしている.

静止画像の色変換は画像圧縮の効率を高めるための手段であるが, 可逆符号化と非可逆符号化における色変換の種々の方式について論じた文献は少ない. 本研究報告は, JPEG, JPEG-LS 及び JPEG XR において, それぞれの色変換の効果をj知るために, 色変換なしと色変換ありの場合について可逆符号化と非可逆符号化の実験を行う方法と実験結果をまとめた報告書である. 実験の結果, 非可逆符号化の場合, YUV4:4:4 の設定であると, JPEG XR の色変換の効果は低く, 画像によっては逆効果が発生することも判明した.

なお, JPEG の色変換の方式は規定されており, 色

変換なしとし, 独自の色変換方式を適用することはできない. その意味で, 本研究の JPEG については, 応用研究ではなく (実用性はなく), 基礎研究としての位置づけである.

## 2 色変換の式

### 2.1 JPEG

JPEG の国際標準<sup>1), 2)</sup>では色変換は必須とはされていない. 実装上のこのような JPEG の不統一さをなくし, JPEG の互換性を保つため, 1992 年に JFIF (JPEG File Interchange Format)<sup>3)</sup>が定められた. JFIF で定義されている RGB から YCbCr への色変換の式は次の通りである.

$$\left. \begin{aligned} Y &= 0.299R + 0.587G + 0.114B \\ Cb - 128 &= -0.1687R - 0.3313G + 0.5B \\ Cr - 128 &= 0.5R - 0.4187G - 0.0813B \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

色差成分の Cb と Cr は  $(B - Y)$  と  $(R - Y)$  に係数を乗じた成分であり, B と R の輝度成分 Y からの差を示す<sup>11)</sup>. YCbCr から RGB への逆色変換の式は次の通りである.

$$\left. \begin{aligned} R &= Y + 1.402 (Cr - 128) \\ G &= Y - 0.34414 (Cb - 128) \\ &\quad - 0.71414 (Cr - 128) \\ B &= Y + 1.772 (Cb - 128) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

<sup>†</sup> 情報工学科

JPEG の色変換の式の特徴は小数点数を使用していることであり、色変換の観点からは、元の RGB は完全には復元できない。

## 2.2 JPEG-LS

可逆符号化の JPEG-LS<sup>4)</sup>の可逆色変換は拡張版<sup>5)</sup>で追加された。JPEG-LS の可逆色変換の式は次の通りである。0～255 の範囲への縮退(modulo reduction)については文献 12), 13)を参照されたい。floor( )は切り捨て関数を意味する。

$$\left. \begin{aligned} R' &= R - G \\ B' &= B - G \\ G' &= G + \text{floor}((R' + B') / 4) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

逆色変換の式は次の通りである。

$$\left. \begin{aligned} G &= G' - \text{floor}((R' + B') / 4) \\ R &= R' + G \\ B &= B' + G \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

## 2.3 JPEG XR

JPEG XR の色変換の式は国際標準<sup>7)</sup>で次のように定義されている。ceiling( )は切り上げ関数を意味する。

$$\left. \begin{aligned} V &= B - R \\ t &= R - G + \text{ceiling}(V / 2) \\ Y &= G + \text{floor}(t / 2) \\ U &= -t \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

逆色変換の式は次のように定義されている。

$$\left. \begin{aligned} t &= -U \\ G &= Y - \text{floor}(t / 2) \\ R &= t + G - \text{ceiling}(V / 2) \\ B &= V + R \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

一方、国際標準の Reference Software<sup>8)</sup>のソースコードを見ると、JPEG XR の色変換の式は式(5)と同一であるが、逆色変換の式は次のように定義されている。

$$\left. \begin{aligned} G &= Y - \text{floor}(-U / 2) \\ R &= G - U - \text{ceiling}(V / 2) \\ B &= V + R \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

式(6)は、式(5)で t が使用されていることに対応して

t を用いて記述したもので、 $t = -U$  を代入すると式(7)と同一となる。これより、国際標準 JPEG XR の実装版である Reference Software<sup>8)</sup>は、国際標準 JPEG XR<sup>7)</sup>の色変換の定義を確かに実装していることが確認できる。

国際標準の式(5) の V, t, Y, U と式(7)の G, R, B はそれぞれ記述された順に算出する必要があり、式(5)と式(7)は完全に可逆な色変換である。floor( )と ceiling( )を除くと、式(7)から次の Y と U が導かれる。

$$\left. \begin{aligned} Y &= G / 2 + (R + B) / 4 \\ U &= G - (R + B) / 2 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

他方、国際標準 JPEG XR の基となったマイクロソフト社の HD Photo の仕様書<sup>9)</sup>では、色変換の式は次のように定義されている。

$$\left. \begin{aligned} V &= B - R \\ U &= R - G + \text{ceiling}(V / 2) \\ Y &= G + \text{floor}(U / 2) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

逆色変換の式は次のように定義されている。

$$\left. \begin{aligned} G &= Y - \text{floor}(U / 2) \\ R &= U + G - \text{ceiling}(V / 2) \\ B &= V + R \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

floor( )と ceiling( )を除くと、式(9)から  $U = (R + B) / 2 - G$ ,  $Y = G / 2 + (R + B) / 4$  が導かれる。式(8)と式(9)、つまり式(5)と式(9)は U の極性が逆に定義されている違いがあることがわかる。これは次に示す図 1(b)において、 $(R + B) / 2$  を基に G との差をとるか、G を基に  $(R + B) / 2$  との差をとるかの違いである。また、式(5)において、 $U = -t$  と置き換えるか、 $U = t$  と置き換えるかの違いでもある。

## 2.4 JPEG-LS と JPEG XR の比較

floor( )を除くと、JPEG-LS の色変換の式(3)から  $G' = G / 2 + (R + B) / 4$  が導かれる。これは JPEG の式(1)の輝度成分である Y の係数を 2 のべき乗を用いて近似化したものであり、JPEG XR の式(8)中の Y と同一である。

色差成分に関し、JPEG-LS においては、図 1(a)に示すように、単純に G を基に R と B との差を用いている。この色差は一般的な考え方である。

これに対し、JPEG XR においては、図 1(b)に示す

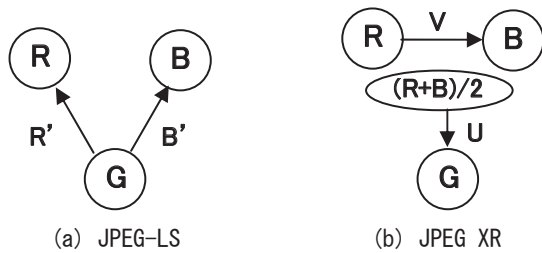


図1 色変換の色差成分

ように、 $R$  と  $B$  の差と、 $R$  と  $B$  の平均と  $G$  との差を使用している。しかし、画像により異なるが、一般的に  $R$  と  $B$  間の相関が最も強いとは考えられないので疑問が残る。JPEG の色変換の式(1)でも大きい係数だけを見れば、 $Cb$  は  $B$  と  $G$  間の色差、 $Cr$  は  $R$  と  $G$  間の色差に近い。

この疑問について、文献 11) に、標準 Kodak 画像セット中の 24 枚の RGB 画像 ( $768 \times 512$  画素) を用いて Karhunen-Loève 変換 (KLT) による統計データから係数を決めたと記載されている。また、逆色変換で演算が容易である特徴があることも記載されている。これは、 $U = G - (R + B) / 2$  を選定することにより、 $Y = (G + (R + B) / 2) / 2$  中に  $(R + B) / 2$  が存在するため、逆色変換で  $G = Y + U / 2$  が可逆で容易に正しく定められることを意味していると推定される。

### 3 色変換の効果の実験方法

静止画像の可逆符号化 (JPEG-LS と JPEG XR) における色変換の効果は、色変換ありの場合と色変換なしの場合の圧縮率を比較することにより行った。また、非可逆符号化 (JPEG と JPEG XR) における色変換の効果は、色変換ありの場合と色変換なしの場合の圧縮率対画像品質 (圧縮率対 PSNR) の性能を比較することにより行った。

このセクションでは、各符号化方式ごとに色変換ありの場合と色変換なしの場合の実験方法について述べる。

#### 3.1 JPEG

JPEG の符号化と復号化には Independent JPEG Group (IPG) <sup>14)</sup> が公開しているソフトウェア `jpegsrc8c.zip` を使用した。符号器は `cjpeg.exe`、復号器は `djpeg.exe` であり、それぞれ JFIF で規定された色変換と逆色変換が組み込まれている (図 2 を参照)。コマンドには色変換を行わないように設定するスイッチ (オプション)

は無い。

そのため、色変換なしの実験用に色変換と逆色変換を行わないようにソースコードを変更して、実行ファイルを作成した。具体的には、入力 PPM (Portable Pixel Map) を YCbCr と見なさせると、実際に入力 PPM の RGB は内部で色変換されない。また、圧縮 `jpg` は YCbCr データと見なされるので、復号で、圧縮 `jpg` を RGB データと強制すると、逆色変換されない。

#### 3.2 JPEG-LS

JPEG-LS の符号化と復号化には LOCO-I / JPEG-LS のホームページ <sup>15)</sup> 上で公開されている実行プログラム `lococ.exe` と `locod.exe` (同じ機能の実行プログラムは国際標準 <sup>4)</sup> の CD に Reference Implementation として収録されている) をそのまま使用した <sup>10), 11)</sup>。

JPEG-LS の拡張版で規定されている可逆色変換は、符号化時の色変換の前処理と復号化後の逆色変換の後処理として行った (図 3 を参照)。

#### 3.3 JPEG XR

JPEG XR の符号化と復号化には国際標準 JPEG

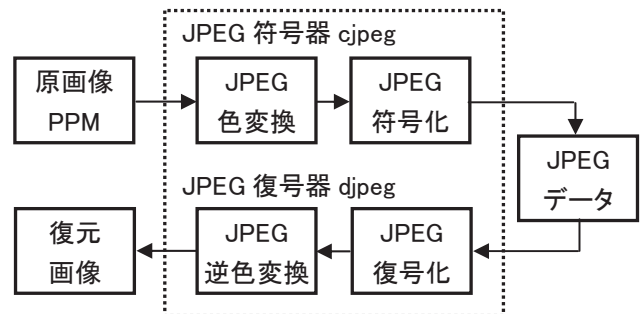


図2 JPEG の色変換と逆色変換

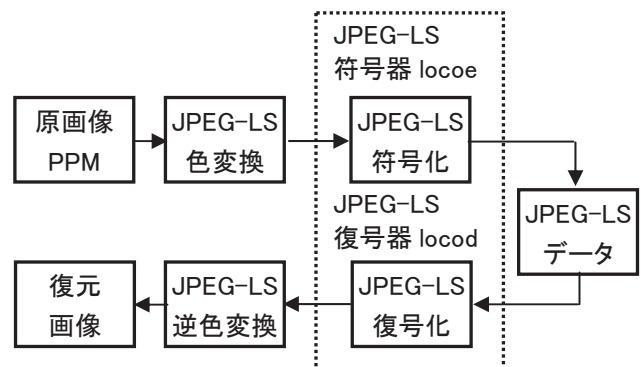


図3 JPEG-LS の色変換と逆色変換

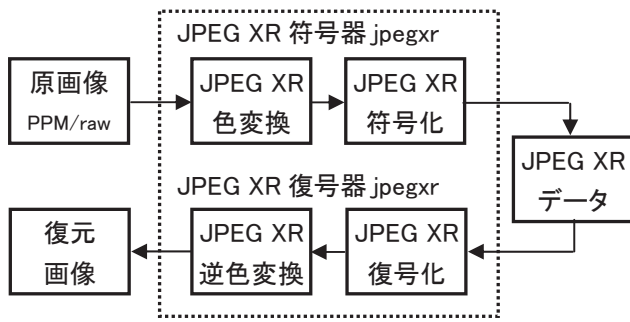


図4 JPEG XRの色変換と逆色変換

XRのReference Software<sup>8)</sup>を使用した。このソフトウェアはjpegxr.exeとjpegxr.dllで構成されており、国際標準で規定された色変換と逆色変換が組み込まれている(図4を参照)。JPEGの公開ソフトウェアと同じくこのソフトウェアのコマンドにも色変換を行わないように設定するスイッチ(オプション)はない。

そのため、ここではJPEGと同様、色変換なしの実験用に色変換と逆色変換を行わないようにソースコードを変更して、実行ファイルを作成した。具体的には、RGBをYUVへ色変換する関数内でRGBのままとし、YUVをRGBへ逆色変換する関数内でYUVのままとすることにより、色変換と逆色変換を無効とした。

なお、使用したJPEG XRのReference Software(jpegxr.exe)では、原画像の入力ファイルとしてPPM形式ではなくraw形式を使用し、スイッチ(オプション)の-M 21でYUV444を設定することにより、色変

換を行わないようにすることができるが、ここでは、使用しなかった。下記と同じ実験結果が得られるものと推察される。

## 4 色変換の効果の実験結果

色変換の効果を知るために行った実験結果について述べる。使用した試験画像の書式はいずれもPPM(Portable Pixel Map)である。色差成分のサブサンプリングについては、JPEGの場合はJFIFで定義されたYUV 4:2:0を、JPEG XRの場合はデフォルトのYUV 4:4:4またはJPEGと同じYUV 4:2:0を使用した。

### 4.1 可逆符号化(JPEG-LSとJPEG XR)

表1に色変換なしと色変換ありの場合のJPEG-LSとJPEG XRによる可逆符号化の圧縮率を示す。

JPEG-LSの符号化にはラインごとに順次R、G、Bの各色成分を符号化するline interleaveモードと画素ごとに各色成分を符号化するsample interleaveモードとがあるが、ここではデフォルトのline interleaveモードを使用した。

同表の左欄はJPEG-LSによる色変換なしと色変換ありの場合の圧縮率とそれらの差である色変換による改善率[%]である。同じく、同表の中央欄はJPEG XRによる圧縮率と改善率である。色変換の効果は画像ごとに異なり、効果の高い画像と低い画像があることがわかる。改善率の平均はJPEG-LSでは6.6%、JPEG XRでは6.1%と大差はない。

表1 色変換なしと色変換ありの場合の可逆符号化の圧縮率(JPEG-LSとJPEG XR)

カラー試験画像			圧縮率 [%]							
			JPEG-LS			JPEG XR			LSとXRの差	
			色変換なし	色変換あり	改善率	色変換なし	色変換あり	改善率	色変換なし	色変換あり
aerial	*1	256 × 256	72.5	67.2	5.3	74.8	70.0	4.8	2.3	2.8
girl			56.2	56.1	0.1	60.1	59.5	0.6	3.9	3.4
mandrill			77.2	75.5	1.7	78.8	76.0	2.8	1.6	0.5
lena	*2	512 × 512	56.7	56.4	0.3	59.3	58.6	0.7	2.6	2.2
peppers			49.0	43.5	5.5	53.2	47.2	6.0	4.2	3.7
barbara	*3	720 × 576	60.8	44.8	16.0	62.7	54.8	7.9	1.9	10.0
monarch			47.1	39.0	8.1	52.2	43.4	8.8	5.1	4.4
tulips		768 × 512	52.3	44.4	7.9	55.7	47.7	8.0	3.4	3.3
N1	*3	2048 × 2560	54.0	43.0	11.0	57.1	47.0	10.1	3.1	4.0
N2			63.7	53.3	10.4	69.0	57.5	11.5	5.3	4.2
平均		[画素]	59.0	52.3	6.6	62.3	56.2	6.1	3.3	3.9

\*1: from Waterloo BragZone, <http://links.uwaterloo.ca/colorset.base.html>

\*2: from Test Still Images, <http://www.hlevkin.com/default.html#testimages>

\*3: Standard color image data (SCID), ISO/JIS-SCID JIS X9201-1995





図5 試験画像 lena, girl, mandrill (RGB24bits/pel)



図6 試験画像 monarch, peppers, aerial (RGB24bits/pel)

JPEG-LS の拡張版である色変換を使用しないと、画像 girl と lena 以外の 8 画像で圧縮率は通常の JPEG XR の色変換ありの方が良い。JPEG-LS の色変換を使用すると全画像で圧縮率が JPEG XR より良くなる。つまり、JPEG-LS が優位性を保つにはオプションとしての拡張版の色変換が必須となる。

## 4.2 画像ごとの色変換の効果 (JPEG-LS と JPEG XR)

表 1 の右欄は色変換なしと色変換ありの場合の JPEG-LS と JPEG XR の圧縮率の差を示す。いずれの場合も JPEG-LS の方が優れている。色変換なしの場合は 1.6～5.3%の差であるが、色変換ありの場合は 0.5～10.0%と画像により差の範囲が大きくなることわかる。特に、画像 barbara の場合、JPEG XR は JPEG-LS に比べて圧縮率が 10%も劣る。

文献 10)で代表的な試験画像である lena, girl, mandrill (図 5 を参照)において JPEG-LS の色変換の効果が低い原因の究明とその対策について述べたが、これらの三つの画像は JPEG XR の色変換によってもその効果が低い。したがって、非可逆符号化用の色変換の評価を行う際に画像 lena だけを代表的な試験画像として採用することには注意を払うべきである。そのため、次に述べる非可逆符号化では、試験画像として、可逆符号化における色変換による改善率が平均値に近い三つの画像 monarch, peppers, aerial のグループと色変換の効果の低かった三つの画像 lena, girl, mandrill のグループに分けて述べる。

## 4.3 非可逆符号化 (JPEG と JPEG XR) その 1

このサブセクションその 1 では、4.2 で述べたよう

に、可逆符号化において色変換による改善率が平均値に近い三つの画像 monarch, peppers, aerial (図 6 を参照) のグループを試験画像として使用した実験結果について述べる。

### 4.3.1 色変換あり

図 7 に通常の色変換ありの場合の JPEG と JPEG XR (サブサンプリングはデフォルトの YUV4:4:4) による非可逆符号化の圧縮率対 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) (compression ratio vs. image quality (画像品質)) を示す。同図中の一点鎖線は、非可逆符号化の実用的な圧縮率の目安である圧縮率 5%と 10%、および人間が画像品質の劣化を目視で認識できなくなる境界値と云われている PSNR = 35dB を示す。画像を示すマーカーの●は画像 monarch, ■は peppers, ▲は aerial である。

JPEG XR の圧縮率対 PSNR が JPEG に優ることは前年度の研究報告<sup>16)</sup>でも報告したが、今回の実験結果でも、画像 aerial を除き、同様の結果が見られる。画像 monarch と peppers の場合、PSNR = 35dB に対する圧縮率は JPEG では約 5%であるが、JPEG XR ではその半分の約 2.5%で済む。

一方、画素値の変化が激しい画像と云われている画像 aerial の場合、圧縮率 5%に対する PSNR は JPEG も JPEG XR も約 27dB と低く、実用に耐えない。PSNR = 30dB に対する圧縮率は JPEG では約 15%であるが、JPEG XR では約 11%と、約 4%の差がある。

### 4.3.2 色変換なしと色変換あり

図 8 と図 9 に色変換なしと色変換ありの場合の JPEG と JPEG XR (YUV4:4:4) による圧縮率対 PSNR を示す。両図中、実線は色変換ありの場合、点線は色変換なしの場合である。一見して両図より明らかなことは、JPEG XR の色変換ありなしに比べて、JPEG

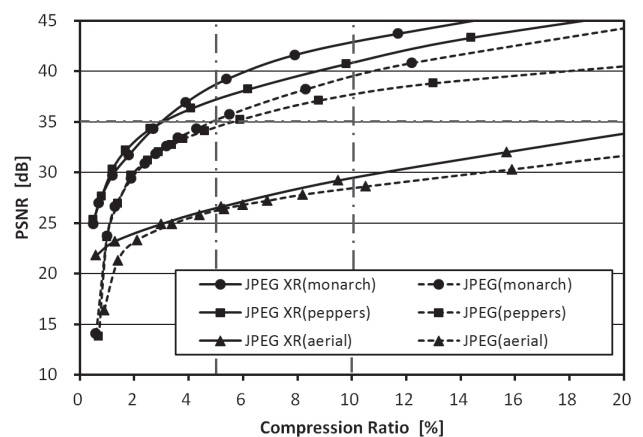


図7 JPEG と JPEG XR の圧縮率対 PSNR (色変換あり)

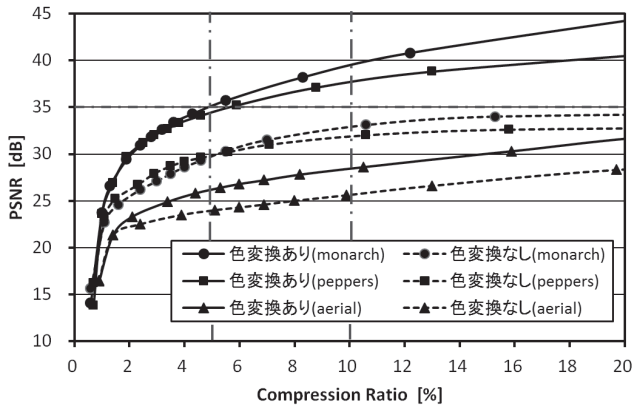


図8 JPEGの圧縮率対PSNR

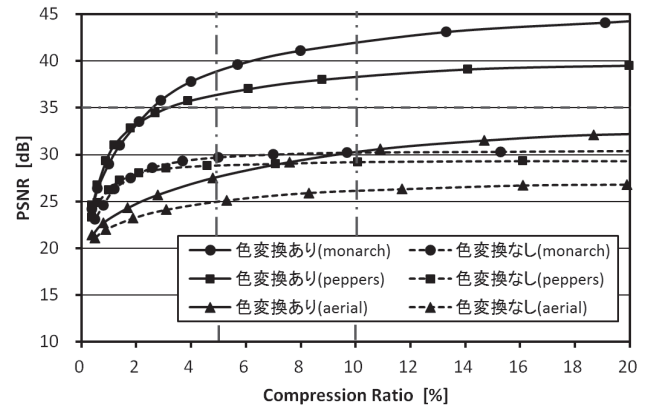


図10 JPEG XR (YUV4:2:0)の圧縮率対PSNR

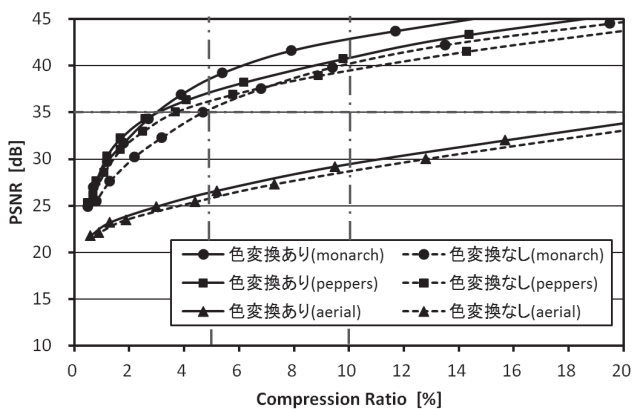


図9 JPEG XR (YUV4:4:4)の圧縮率対PSNR

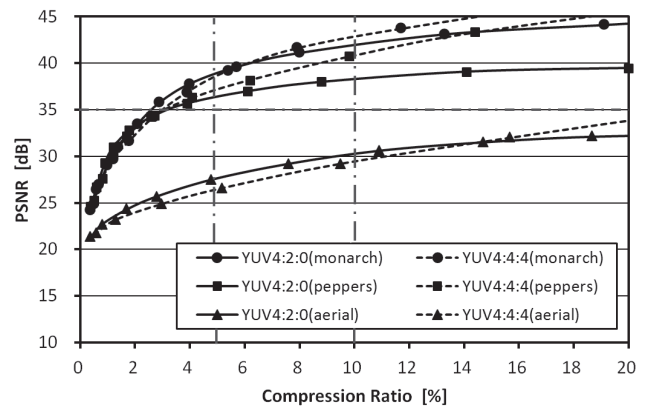


図11 JPEG XR (YUV4:4:4とYUV4:2:0, 色変換あり)の圧縮率対PSNR

の色変換ありの寄与度が高いことである。

図8のJPEGにおいて、圧縮率5%に対するPSNRは画像monarchとpeppersでは色変換なしの約30dBが色変換ありでは約35dBと、約5dB改善されている。また、画像aerialでは約2.5dB改善されている。これに対し、図9のJPEG XRにおいては、圧縮率5%に対するPSNRは、色変換により画像monarchでは約3.5dB、peppersとaerialでは約1dBしか改善されていない。特に画像aerialでは圧縮率が増大しても色変換の寄与度は低いままである。

#### 4.3.3 JPEG XRのサブサンプリングの効果

次に、サブサンプリングをJPEGと同じくYUV4:2:0と設定した場合のJPEG XRによる圧縮率対PSNRを図10に示す。同図をYUV4:4:4の図9と比較すると、色変換なしの場合はサブサンプリングYUV4:2:0の間引きにより圧縮率対PSNRが非常に悪くなるが、色変換により改善され、色変換ありの場合の圧縮率対PSNRはサブサンプリングなし(YUV4:4:4)と大差がなくなることがわかる。

つまり、色変換ありの場合、サブサンプリングの間引きにより画像品質が劣化するが、その分だけ圧縮率が改善されるため、圧縮率対PSNRの性能上ではそれらが相殺される。色変換なしの場合、RGB中のG成分とB成分が直接に間引きされるため、復元画像の画質劣化への影響が大きくなると推察される。これに対し、色変換ありの場合、YUV中の間引かれないY成分にR, G, Bのデータが含まれているため、画質劣化への影響が小さくなると推察される。

さらに、図9(YUV4:4:4)と図10(YUV4:2:0)から色変換ありだけを抜き出し比較したグラフを図11に示す。画像monarchでは圧縮率5%以下、画像aerialでは圧縮率15%以下でYUV4:2:0の圧縮率対PSNRがYUV4:4:4よりもわずかに良くなるのが観察される。しかし、画像peppersではこの現象は観られない。

#### 4.4 非可逆符号化(JPEGとJPEG XR) その2

このサブセクションその2では、4.2で述べたように、可逆符号化における色変換による改善の効果が低

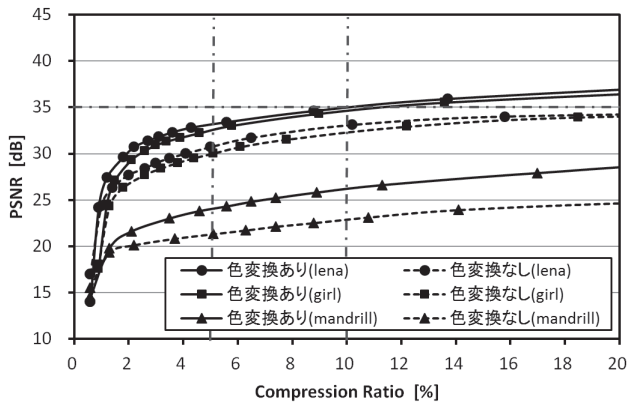


図 12 JPEG の圧縮率対 PSNR

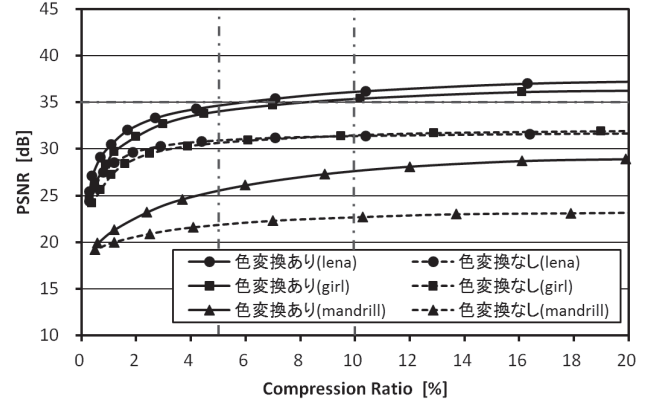


図 14 JPEG XR (YUV4:2:0) の圧縮率対 PSNR

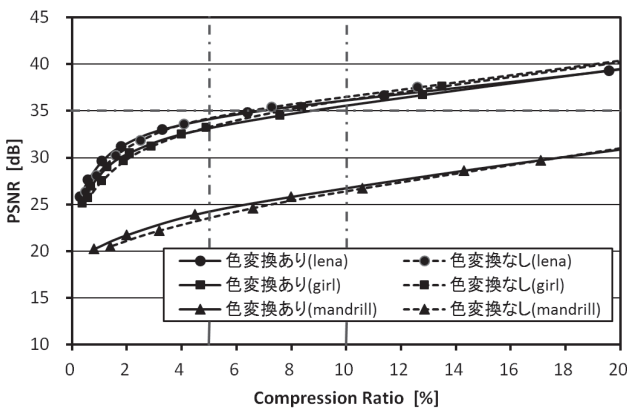


図 13 JPEG XR (YUV4:4:4) の圧縮率対 PSNR

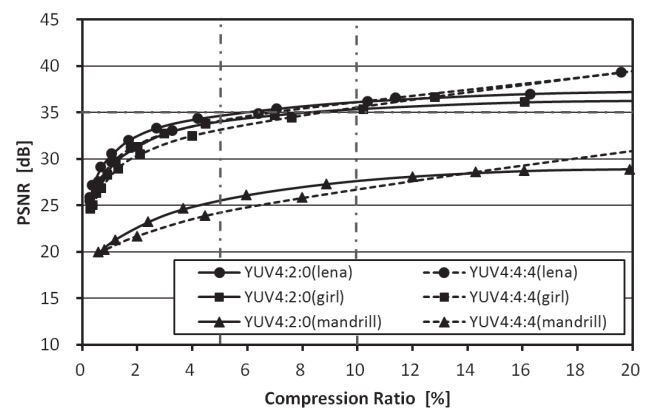


図 15 JPEG XR (YUV4:4:4 と YUV4:2:0, 色変換あり) の圧縮率対 PSNR

かった三つの画像 lena, girl, mandrill (図 5 を参照) のグループを試験画像として使用した実験結果について述べる。

#### 4.4.1 色変換なしと色変換あり

図 12 と図 13 に色変換なしと色変換ありの場合の JPEG と JPEG XR による非可逆符号化の圧縮率対 PSNR を示す。いずれにおいても色変換ありの画像 lena と girl の場合、圧縮率=5%に対する PSNR は 35dB には至らない。JPEG においては圧縮率=10%で PSNR=35dB が得られ、JPEG XR においては圧縮率が約 8%で PSNR=35dB が得られる。その差は約 2%であり、これらの画像においては JPEG XR の優位性は 4.3 で用いた画像に比べ低くなる。

特に、前述の画像 aerial と同様に画素値の変化が激しいと云われている画像 mandrill の場合、圧縮率が 5%と 10%に対する PSNR は JPEG も JPEG XR もほぼ同じ値であり、JPEG XR の優位性は全く見られない。

図 12 より画像 lena と girl に対する JPEG の色変換

による改善率は図 8 の画像 monarch と peppers の場合より低いことがわかる。

図 13 よりこれら三つの試験画像の例では、JPEG XR の色変換の効果が極めて低いことがわかる。画像 mandrill では圧縮率 17%以上では色変換ありと色変換なしのグラフは重なり効果は見られなくなる。さらに、画像 lena と girl では圧縮率 4%以上で色変換なしの方が同じ圧縮率に対する画質が良くなり、逆効果となる。このように、実用的な圧縮率の範囲 (5%や 10%) で画像によっては色変換が悪影響を与えることは好ましくない。JPEG XR の国際標準が、JPEG と同じく、色変換のありなしの選択の余地がないように定められたことも検討の余地があったことになる。

#### 4.4.2 JPEG XR のサブサンプリングの効果

次に、サブサンプリングを JPEG と同じく YUV 4:2:0 と設定した場合の JPEG XR による圧縮率対 PSNR を図 14 に示す。YUV4:2:0 の場合、これらの三試験画像でも、4.3.3 で前述したサブサンプリングの効果が観測される。



さらに、図 13 (YUV4:4:4) と図 14 (YUV4:2:0) から色変換ありだけを抜き出し比較したグラフを図 15 に示す。画像 lena では圧縮率 10%以下、画像 girl では圧縮率 9%以下、画像 mandrill では圧縮率 14%以下で YUV4:2:0 の圧縮率対 PSNR が YUV4:4:4 よりもわずかに良くなることが観察される。したがって、ユーザがどちらを設定すべきか、は難しい問題である。

#### 4.5 実験結果のまとめ

以上の実験結果は、次のようにまとめられる。

- JPEG XR の可逆符号化において、圧縮率で評価した色変換の効果は、JPEG-LS と同様に、画像ごとにより異なる。代表的な試験画像である lena, girl, mandrill に対する色変換の効果は低い。
- JPEG XR の可逆符号化の圧縮率は、拡張版の色変換を使用した JPEG-LS の圧縮率に比べ、使用した 10 試験画像の平均で約 4%悪い。
- デフォルト (サブサンプリングが YUV4:4:4) の JPEG XR の圧縮率対 PSNR は、JPEG に比べて、画像 monarch と peppers では非常に良いが、画像 aerial, lena, girl ではわずかに良いだけである。画像 mandrill では大差はない。
- 色変換なしと色変換ありで比較した色変換の効果は、JPEG よりも JPEG XR (YUV4:4:4) は低い。特に、画像 mandrill では JPEG XR の色変換の効果はなく、画像 lena と girl では色変換の逆効果が生じる。
- JPEG XR は YUV4:2:0 のサブサンプリングでデフォルトの YUV4:4:4 の圧縮率対 PSNR よりもわずかに改善される場合がある。しかし、画像により結果は異なるため、ユーザにとり、YUV4:4:4 あるいは YUV4:2:0 のどちらを設定すべきか、は難しい問題である (実際は YUV4:2:2 も設定可能である)。

## 5 むすび

以上、本研究報告は、JPEG, JPEG-LS 及び JPEG XR において、それぞれの色変換の効果を知るために、色変換なしと色変換ありの場合について可逆符号化と非可逆符号化の実験を行う方法と実験結果について報告した。

1 はしがきで述べたように、本研究の実験で使用した JPEG の色変換なしは基礎研究の位置づけであり、実用性はない。今後の課題として、実用性を目指し、次の点が挙げられる。

- 規定の色変換が組み込まれた JPEG の符号器をそ

のまま用い、前処理で色変換を変更する方法の開発

- 上記の方法および JPEG XR を使用し、圧縮率対 PSNR の性能を改善する色変換方式の開発

## 謝辞

本研究は平成 23 年度校内研究助成金 (一般研究) を受けて行われたことを記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) W.B. Pennebaker and J. L. Mitchell, JPEG still image data compression standard, Van Nostrand Reinhold, New York, 1993.
- 2) CCITT T.81, Information technology – Digital compression and coding of continuous-tone still images – Requirements and guidelines, Sept. 1992, <http://www.w3.org/Graphics/JPEG/itu-t81.pdf>
- 3) Eric Hamilton, JPEG File Interchange Format Version 1.02, Sept. 1992.
- 4) ISO/IEC 14495-1: 1999(E), Information technology – Lossless and near-lossless compression of continuous-tone still images: Baseline, Dec. 1999.
- 5) ISO/IEC 14495-2: 2003(E), Information technology – Lossless and near-lossless compression of continuous-tone still images: Extensions, April 2003.
- 6) ISO/IEC TR 29199-1: 2011, Information technology – JPEG XR image coding system – Part 1: System architecture, July 2011.
- 7) ISO/IEC 29199-2: 2010, Information technology – JPEG XR image coding system – Part 2: JPEG XR image coding specification, Oct. 2010.
- 8) ISO/IEC 29199-5: 2010, Information technology – JPEG XR image coding system – Part 5: Reference software, Aug. 2010.
- 9) F. Dufaux, G. J. Sullivan, T. Ebrahimi, “The JPEG XR Image Coding Standard”, IEEE Signal Processing Magazine, vol. 26, num. 6, p. 195-199, 204-204, Nov. 2009.
- 10) HD Photo – Photographic Still Image File Format – Bitstream Specification, Version 1.0, Microsoft, 2006.
- 11) H. S. Malvar, G. J. Sullivan, and S. Srinivasan, “Lifting-based reversible color transformations for image compression”, SPIE Applications of Digital Image Processing, International Society for Optical Engineering, XXXI, vol. 7073, paper 7073-07, Aug.



2008.

- 12) 加治佐清光, “可逆色変換の縮退に関する考察”, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J92-A, No.6, pp.444-450, 2009.
- 13) 加治佐清光, “可逆色変換による ROI と準可逆による背景の符号化方式”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J91-D, No.8, pp.1963-1966, 2008.
- 14) Independent JPEG Group, <http://www.ijg.org/>
- 15) LOCO-I / JPEG-LS software, HP Labs LOCO-I / JPEG-LS Home Page, <http://www.hpl.hp.com/loco/>
- 16) 加治佐清光, 吉田沙央里, “JPEG XR ビューア第 2 版の試行”, 鹿児島工業高等専門学校研究報告, 第 46 号, pp. 19-28, 2012.